آزمایشگاه فیزیک حالت جامد

شماره آزمایش:۴

فرومغناطیس در یک مدل آهنربایی

هدف آزمایش

۱.بررسی جهت‌گیری سوزن‌های مغناطیسی که متناظر با رشد حوزه‌های مغناطیس شونده خودبخودی می‌باشد.

۲. ایجاد منحنی پس ماند مغناطیسی با استفاده از چاپگر

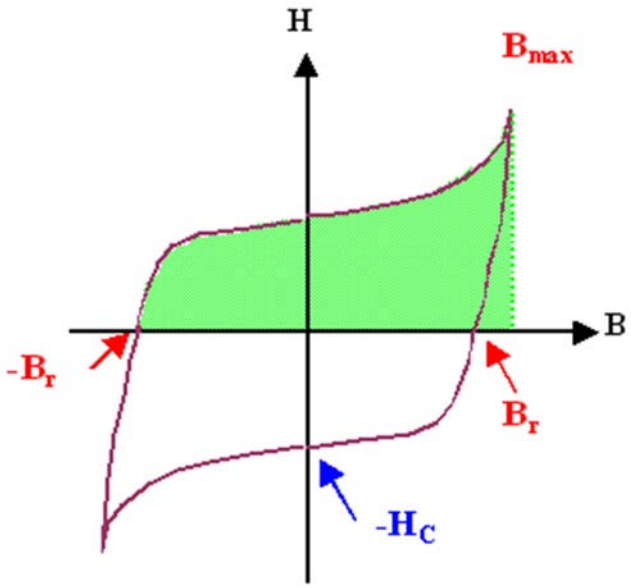
مقدمه

فرومغناطیس‌ها رده‌ای از مواد مغناطیسی هستند که وجه مشخصه‌ی چنین موادی آن است که می‌توانند مغناطش دائم داشته باشند و عموماً حضورشان تاثیر زیادی در میدان مغناطیسی دارد. پاسخ این مواد طبق رابطه (۱) به میدان‌های مغناطیسی غیرخطی است، یعنی μ وابسته به H است.

$$B = K_m \mu_0 H \qquad (۱)$$

در این مواد K_m (تراوایی نسبی) می‌تواند به 1.5×10^5 برسد که تقریبا ۵ مرتبه بزرگی، بزرگتر از بزرگترین K_m مواد پارامغناطیس است. در نتیجه اندرکنش بین گشتاورهای دوقطبی مغناطیسی اجزای شبکه، حوزه‌های مغناطیس اتفاقی در این مواد، تشکیل می‌شوند و هنگامی که میدان مغناطیسی H تغییر می‌نماید آرایش بهمنی جدیدی از دوقطبی‌های مغناطیسی شکل می‌گیرد. این تجدید آرایش بر جابجایی میکروسکوپی مرزهای بین حوزه‌های مغناطیس دیواره‌های بلاخ[1] تاثیر می‌گذارد و حوزه‌هایی که مغناطیس اتفاقی آن‌ها غالبا در جهت میدان خارجی می‌باشد، به این ترتیب رشد می‌کنند.

[1] Bloch



شکل ۱ پسماند

این مواد پدیده‌ای برگشت ناپذیر از خودشان نشان می‌دهند که پسماند مغناطیس نامیده می‌شود. اگر یک نمونه ماده فرومغناطیس را که نامغناطیده است در میدان مغناطیسی که به طور یکنواخت از صفر افزایش داده می‌شود قراردهیم، منحنی شکل ۱ ، منحنی حاصل از رسم رابطه‌ی B-H خواهد بود. به این منحنی، منحنی مغناطش می‌گویند.

شرح آزمایش:

در این آزمایش از شبکه‌ای از سوزن‌های مغناطیسی کوچک به‌عنوان مدل فرومغناطیسی استفاده می‌شود. اندرکنش مغناطیسی سبب می‌گردد که سوزن‌های موازی، نواحی وسیعی را پوشانده و شکلی همانند حوزه‌های مغناطیسی اتفاقی پدیدآید. در این آزمایش میدان مغناطیسی همگن H با استفاده از یک جفت سیم پیچ هلمهولتز و جریانی از نوع دلتا با فرکانس بسیار کم (f=0.02Hz) بوجود می‌آید. به عبارت دیگر پلاریته میدان هر ۲۵ ثانیه تغییر می‌کند. مدل آهنربایی در بین دو سیم پیچ قرار می‌گیرد تا شار مغناطیسی ϕ طبق رابطه (۲) اندازه‌گیری شود:

$$\phi = B.A \qquad (۲)$$

A، سطح مقطع هسته سیم‌پیچ می‌باشد. هنگامی‌که پلاریته مغناطیسی معکوس گردد ولتاژهای القایی U در سیم‌پیچ‌ها بر اساس رابطه (۳) ایجاد می‌گردد:

$$U = -\frac{d\varphi}{dt} = -A\frac{dB}{dt} \qquad (۳)$$

ولتاژ القایی شامل دو مؤلفه است، یک مؤلفه U_H که توسط میدان H القا می‌گردد (رابط (٤)) :

$$U_H = \mu_0 A\frac{dH}{dt} \qquad (٤)$$

و یک مؤلفه U که بعلت برگشت مغناطیسی سوزن‌های ایجاد می‌شود (رابطه (٥)):

$$U = U_H + U_M \qquad (٥)$$

از آنجا که تنها اندازه‌گیری مولفه U_M برای رسم منحنی پس ماند لازم است، مولفه‌ی U_H را با سری کردن سیم پیچ دیگری با سیم پیچ‌های تخت با سطح مقطع یکسان خنثی می‌کنیم. این سیم پیچ متعادل کننده، سیم پیچی ٥٠٠ دوری است که ولتاژ القا شده در آن برابر $-U_H$ می‌باشد. از آن‌جا که ولتاژ القایی U_M متناسب با تغییر شار مغناطیسی می‌باشد لذا اگر از U_M انتگرال بگیریم، ولتاژی متناسب با تغییرات $B(t)$ (رابطه (٦)) بدست می‌آید:

$$B(t) - B(t_0) = \int_{t_0}^{t} U_M dt \qquad (٦)$$

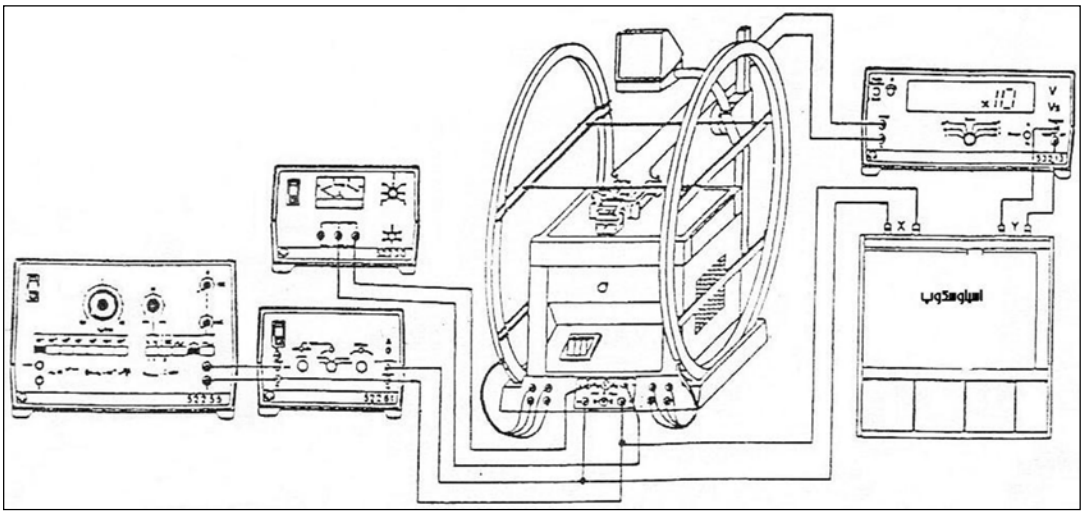
میکروولت‌متر وظیفه‌ی تقویت اولیه و انتگرالگیری ولتاژ القایی را بر عهده دارد و می‌توان از خروجی آنالوگ آن ولتاژی متناسب با B را بدست آورد.

وسایل آزمایش

۱. چاپگر
۲. مولد تابع D
۳. تقویت کننده ۳۰ W-AC/DC
٤. زوج سیم پیچ حلقوی بزرگ
٥. مدل آهنربایی
٦. میکروولتمتر
۷. جفت سیم پیچ سطح
۸. سیم پیچ ٥٠٠ دور
۹. سوزن آهنربایی
۱۰. سیم رابط
۱۱. منبع تغذیه با ولتاژ تنظیم شده‌ی صفر تا ۱٥ ولت

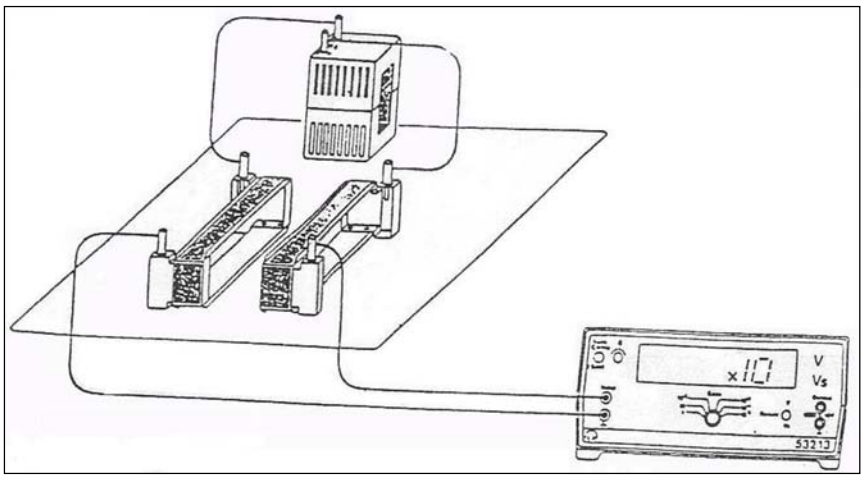
روش آزمایش

شکل (۲) و (۳) شماتیک کلی از دستگاه آزمایش است. دستگاه آزمایش را مطابق شکل سوار کنید. مولد تابع را به تقویت کننده AC/DC وصل نموده و خروجی تقویت کننده را به سیم پیچ‌های هلمهولتز متصل نمایید (از اتصال H سیم پیچ استفاده کنید). منبع تغذیه تنظیم شده را به سیم پیچ‌های هلمهولتز وصل کنید، از اتصال E سیم پیچ استفاده شود.



شکل۲ دستگاه آزمایش مدل پس ماند فرومغناطیسی

دو عدد سیم پیچ تخت را در صفحه تصویر قرار داده و مطابق شکل ۳ به بوبین ۵۰۰ دور وصل نمایید، ولی مدل فرومغناطیس را در بین سیم پیچ‌ها قرار ندهید.



شکل۳ مدار شامل یک جفت بوبین تخت و سیم پیچ متعادل کننده

- **ترتیب انجام مراحل آزمایش:**

۱. خنثی نمودن مؤلفه افقی میدان مغناطیسی زمین:

در حالتیکه مولد تابع و تقویت کننده آن خاموش‌اند، سوئیچ H_E را روشن کرده و ولتاژ منبع تغذیه (جریان I)[۲] را زیاد کنید تا قطب نما که در مرکز مدل قرار داده‌ایم در هر وضعیتی، ساکن بماند و به طرف وضع و جهت خاصی متمایل نشود.

۲. خنثی کردن U_H

مولد تابع را در وضعیت موج مثلثی (دلتا) روی فرکانس f=0.5Hz قرار دهید. تقویت کننده AC/DC را روی وضعیت DC و ضریب تقویت x۱۰ را انتخاب کنید. دامنه AC را روی ماکزیمم مقدارش قرار دهید.کلید تضعیف کننده را تا هنگامی که دیود[۳] قرمز بالای سوکتهای خروجی روشن نشود، زیاد کنید. (در این مرحله چراغ دیود سبز در حالت فلش زدن قرار میگیرد.)

❖محور x وy چاپگر را روی حالت 1V/cm قرار دهید.

❖ قبل از روشن کردن جریان سیم پیچهای حلقوی بزرگ باید میکرو ولتمتر را تنظیم کنیم:

برای تنظیم میکرو ولتمتر ابتدا ضریب تقویت آن را روی 10^4 بگذارید. در حالتیکه هیچ اتصالی به آن وصل نیست حالت V را انتخاب کرده و با کنترل توسط پیچ های Compensation , offset که روی خود میکرو ولتمتر هستند، مقدار ولتاژ اولیه را روی صفر کالیبره کنید. فاصله سیم پیچ‌های مستطیلی (تخت) را از هم ۴/۵ سانتی‌متر تنظیم کنید. سپس جریان کویل را روشن کنید. در این حالت میکرو ولتمتر مقدار ولتاژی را نمایش خواهد داد. با جابه‌جا کردن محل قرارگیری سیم پیچ ۵۰۰ دوری نسبت به سیم پیچ‌های مستطیلی (تخت)، دوباره مقدار ولتاژ را روی میکرو ولتمتر به صفر برسانید. در این حالت موفق به حذف اثر U_H شده ایم. در عین حال صفر شدن اثر U_H را با چاپگر هم بررسی می‌کنیم. با روشن کردن چاپگر و تنظیم محور x , y مطابق بالا، باید هیچ حرکتی در راستای y مشاهده نشود.

---

[2] STABILIS.POWER SUPPLY
[3] LED

۳. تنظیم انحراف میکروولت‌متر

میکروولت‌متر را در حالت ریست[4] قرار دهید و میدان مغناطیسی H را قطع کنید، سپس میکروولت‌متر را روی " VS " قرار دهید. اگر مداد بر روی چاپگر در راستای y حرکتی داشت می‌توان با صفر کردن میکرو ولت‌متر توسط دکمه‌های Compensation , offset آن را از حرکت باز داشت.

٤. خنثی کردن خاصیت مغناطیسی مدل

بدون تغییر وضعیت بوبین‌های تخت (فاصله ۴/۵ سانتی‌متر) و یا سیم پیچ متعادل کننده (۵۰۰ دوری)، مدل آهنربایی را از پهلو در داخل بوبین‌های تخت جا دهید. مولد تابع را در حالت سینوسی قرار داده و با استفاده از کلید H میدان آهنربایی را بر قرار کنید.

فرکانس خروجی مولد تابع را به تدریج تا ۱۰ Hz افزایش دهید تا سوزن‌های مغناطیسی شروع به چرخش نمایند، در این موقع میدان مغناطیسی را به وسیله‌ی کلید " H " قطع نمایید. بدین ترتیب نظم سوزن‌های مغناطیسی بهم خورده و حوزه‌های مغناطیسی شکل می‌گیرد که جهت گیری مغناطیسی آن‌ها به صورت آماری خواهد بود و خاصیت مدل آهنربایی از بین می‌رود.

۵. ثبت منحنی پسماند مغناطیسی که شامل منحنی مغناطیس شوندگی اولیه می‌باشد:

مطابق شکل (۲) خروجی میکروولت‌متر را به سر y چاپگر و خروجی سیم پیچ مدل را به سر x چاپگر وصل نمایید. میکروولت‌متر را در حالت VS قرار داده در حالی که مولد تابع در وضعیت موج دلتا است منحنی پسماند در فرکانس‌های مختلف را مشاهده نمایید. به مقیاس‌های صفحه‌ی چاپگر توجه و تخمینی از مساحت منحنی پسماند بدست آورید. وقتی تصویر چاپگر به حالت اشباع درآمد با بردن کلید "Vs " به سمت ریست میکروولت‌متر و بازگردان آن تصویر مجدداً ظاهر می‌شود.

خواسته‌های آزمایش

۱. چند تصویر از منحنی پسماند در فرکانس‌های مختلف کشیده مساحت هر منحنی را بدست آورید و نقاط مهم روی این منحنی‌ها را مشخص و دلیل اهمیت آن‌ها را بیان کنید.
۲. نقش نقص شبکه را در مدل موجود بیان کنید.
۳. آیا می‌توان مؤلفه‌ی افقی میدان مغناطیسی زمین را بدست آورد؟ مقدار آن چه قدر است؟

---

[4] Reset

٤. فرکانس تشدید نمونه چه مقدار است؟

٥. خطاهای آزمایش را بیان کنید.

پرسش

١. در مورد پدیده فرو مغناطیس چه می‌دانید؟

٢. عوامل به وجود آورنده‌ی بی نظمی در یک شبکه‌ی بلوری را نام ببرید.

منابع

[١] روزنبرگ، عشقی حسین و عزیزی حسن، فیزیک حالت جامد، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول ١٣٧٦.

[٢] کیتل چالز، پورقاضی اعظم و صفا مهدی و عمیقیان جمشید، آشنایی با فیزیک حالت جامد، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ پنجم ١٣٨٣.